



# Proposition d'ordonnement pour une meilleure localisation de noeuds mobiles dans les Reseaux Corporels sans fils avec ULB

Arturo Guizar, Anis Ouni, Claire Goursaud, Jean-Marie Gorce

## ► To cite this version:

Arturo Guizar, Anis Ouni, Claire Goursaud, Jean-Marie Gorce. Proposition d'ordonnement pour une meilleure localisation de noeuds mobiles dans les Reseaux Corporels sans fils avec ULB. Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications (ALGOTEL), Jun 2015, Beaune, France. hal-01148431

**HAL Id: hal-01148431**

**<https://hal.science/hal-01148431>**

Submitted on 4 May 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Proposition d'ordonnancement pour une meilleure localisation de noeuds mobiles dans les Réseaux Corporels sans fils avec ULB

Arturo Guizar<sup>1</sup>, Anis Ouni<sup>2</sup>, Claire Goursaud<sup>1</sup> and Jean-Marie Gorce<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Lyon, INSA-Lyon, CITI-INRIA, 69100, Villeurbanne, France

<sup>2</sup>Telecom ParisTech, 23 avenue d'Italie, 75014, Paris, France

Dans le cadre de réseaux corporels sans fil (WBAN), l'impact de la mobilité des noeuds sur l'estimation de leur position n'est pas prise en compte, en particulier, lors de la conception des protocoles MAC. Les positions étant estimées avec le protocole '3-Way Ranging', nous quantifions l'impact de la mobilité avec l'erreur quadratique moyenne par rapport à des positions attendues. Afin de minimiser cet impact, nous proposons différentes stratégies d'allocation des slots utilisant une couche MAC TDMA et les évaluons avec un modèle de mobilité réaliste. Nous montrons que l'impact de la mobilité peut être limité en utilisant une approche d'agrégation et de diffusion des messages lors de l'estimation des distances, et un schéma d'ordonnancement efficace qui prend en considération la vitesse de mobilité des noeuds.

**Keywords:** Body Area Networks, Ultra Wideband, Motion Capture, Scheduling, IEEE802.15.6

## 1 Introduction

Les réseaux corporels sans fil (Wireless Body Area Networks) émergent comme une technologie clé dans plusieurs domaines d'application, tels que la médecine, le sport, la sécurité civile et le divertissement [1]. Ces réseaux sont capables de collecter et transmettre de l'information sur l'activité d'une personne, en se basant sur l'analyse du mouvement du corps. Pour cela, 3 paquets différents (une demande et deux réponses) sont transmis, avec le protocole Three Way Ranging (3WR) en Ultra Large Bande (IR-ULB), [2] pour évaluer les temps de vol (ToF) des paquets et ainsi estimer la distance entre les noeuds. Cependant, en cas de mobilité les distances évoluent au cours de la mesure, ce qui peut créer une erreur dans l'estimation du positionnement.

Or, alors que de nombreux travaux ont traité les problèmes de synchronisation d'horloge, les interférences et les effets de canal [3], très peu de solutions considèrent l'impact de la mobilité sur l'estimation de position. Les auteurs de [4] proposent un algorithme d'agrégation et diffusion de paquets 3WR afin de réduire le retard des échanges sans prendre en compte les contraintes sur la conception de la couche MAC. D'autre part, [5] propose une couche MAC qui évalue l'impact de l'allocation de ressources et de la latence de calcul de positions sur l'estimation de distances en conditions de mobilité.. Enfin, [6] montre la relation entre le retard au niveau MAC et la précision du ULB liée au nombre d'ancres et la portée de communication des noeuds en mobilité.

Cependant, les efforts précédents se concentrent sur des réseaux de capteurs sans fil (WSN) qui rencontrent une mobilité réduite par rapport aux WBAN. De ce fait, nous traitons ici l'impact de la mobilité sur l'estimation de la position dans un WBAN et nous la quantifions avec l'erreur quadratique moyenne par rapport aux positions à estimer. De plus, nous proposons une stratégie d'allocation de slots pour les noeuds mobiles et nous l'appliquons avec un mécanisme d'agrégation et diffusion pour réduire la latence des paquets.

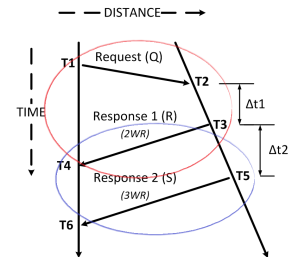


FIGURE 1: Protocole 3WR

## 2 Modélisation du système

### 2.1 Topologie du réseau

Notre étude repose sur un réseau maillé IR-ULB WBAN où tous les noeuds ( $N_T$ ) sont à portée les uns des autres. Notons ici  $i = 1 \dots M$  (resp.  $j = 1 \dots N$ ) où  $M$  (resp.  $N$ ) représente le nombre de noeuds ancrés (resp. noeuds mobiles) sur le corps qui connaissent (resp. ne connaissent pas) leur position. Ainsi nous avons un réseau avec deux types de noeuds ( $N_T = N + M$ ), tel que défini dans [7], où le groupe d'ancres forme un Système de Coordonnées Locales (LCS) pour positionner les noeuds mobiles. Nous définissons également la distance instantanée  $d_{ij}(t)$  du noeud  $i$  avec l'ancré  $j$  et sa position instantanée  $P_i(t)$ .

### 2.2 Algorithme de localisation

Chaque noeud mobile évalue sa distance  $\hat{d}_{ij}(t)$  avec chaque ancre. Pour cela, nous utilisons le protocole 3WR qui permet de récupérer les ToF de trois paquets (Fig. 1) :

- i) le noeud  $i$  envoie un paquet Requête ( $Q_{ij}$ ) à l'ancré  $j$  ;
- ii) l'ancré  $j$  répond avec un paquet Réponse 1 ( $R1_{ij}$ ) pour permettre au noeud  $i$  de calculer le ToF ;
- iii) l'ancré envoie un paquet Réponse 2 ( $R2_{ij}$ ) pour compenser les effets de dérive entre les horloges.

$$\hat{d}_{ij}(t) = \frac{1}{2}c [(\underbrace{(T_4 - T_1) - \Delta t1}_{\text{Temps de vol}}) - (\underbrace{(T_6 - T_4) - \Delta t2}_{\text{Dérive d'horloge}})] \quad (1)$$

Dans (1),  $c$  représente la célérité et la variable  $\Delta t1$  (resp.  $\Delta t2$ ) définit l'intervalle de temps entre la réception du paquet Requête et la transmission du paquet Réponse 1 (resp. l'intervalle entre la transmission de deux paquets Réponse). La position de chaque noeud  $P_i(t)$  est calculée à partir de sa distance avec quatre ancres minimum et un algorithme de positionnement hyperbolique en 3D (TDOA) [2]. Les ancres sont placées sur le corps dans des endroits à mobilité réduite et leurs positions sont connues à tout moment.

### 2.3 Modèle de mobilité

Nous considérons un modèle basé sur des traces réelles obtenues lors de la campagne de mesures du projet CORMORAN menée en Juin 2014 à l'ENS Cachan, Bretagne, France. Les mesures ont été réalisées dans un espace de 10x6 m avec un système de 16 caméras calibrées à une fréquence de 100Hz [8]. Ces caméras ont une grande précision du fait qu'elles utilisent l'infrarouge pour détecter les positions des 41 (resp. 25) marqueurs embarqués sur le corps pour modéliser le mouvement du corps (resp. des capteurs). Dans ce travail, nous traitons un scénario où la personne enchaîne des positions (vitesse moyenne des noeuds  $< 3m/s$ ) statiques (telles que les postures du Yoga) et nous récupérons l'information des positions et du mouvement des capteurs traité et reproduite avec le simulateur PyLayers [9] (Fig. 2).

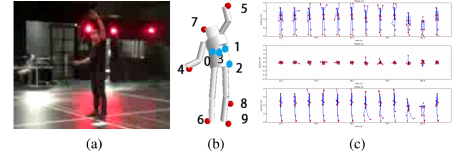


FIGURE 2: (a) Enregistrement avec la caméra (b) Corps reconstruit avec les multi-cylindres où les points rouges représentent les positions des capteurs (c) Décomposition des mouvements du corps

## 3 Proposition et résultats

En situation de mobilité, plusieurs paramètres influent sur la qualité de l'estimation des distances : la vitesse des noeuds, le canal et l'organisation de la trame MAC. En pratique, la vitesse des noeuds dépend de l'activité humaine réalisée et ne peut pas être contrôlée. D'autre part, nous supposons un canal idéal afin de se concentrer uniquement sur l'effet de la mobilité. Enfin, en ce qui concerne la couche MAC, nous avons montré dans [7] que, pour une localisation optimale d'un noeud mobile avec 4 ancres, les retards  $\Delta t1$  et  $\Delta t2$  doivent être les plus petits possible. Or, ces retards dépendent directement du nombre de noeuds/ancres, des stratégies d'ordonnancement des paquets 3WR et de l'ordre d'allocation de slots pour les noeuds mobiles.

Dans ce travail, nous proposons une stratégie d'allocation de ressources afin de minimiser ces retards et ainsi mieux estimer la position. Nous considérons un réseau ULB WBAN composé de 8 capteurs (Fig. 2) : quatre ancres positionnées sur le torse droit (A1), sur le torse gauche (A2), la hanche gauche (A3) et le dos (A4) ; puis quatre noeuds mobiles positionnés dans le bras droit (N5), le bras gauche (N6), le pied droit (N7) et la tête (N8). Nous pouvons noter que dans ce scénario, les pieds restent quasi-statiques, tandis que les bras bougent selon les postures réalisées.

Ainsi, parmi toutes les types d'allocations de slots aux noeuds possibles, nous définissons les quatre plus pertinents pour cette étude : **NS1** (N5, N6, N7, N8) où l'on positionne les noeuds plus mobiles en début de trame, **NS2** (N8, N5, N6, N7) où l'on positionne les noeuds plus mobiles au milieu de la trame, **NS3** (N7, N8, N5, N6) où ils sont à la fin de la trame et **NS4** (N6, N7, N8, N5) où ils sont aux extrémités de la trame.

Au delà de ces affectations de slots, nous utilisons deux algorithmes d'ordonnancement pour les paquets 3WR (Fig. 3) : **Positionnement des noeuds par ordre (P2P)** à son tour, un noeud envoie un paquet Requête  $Q_i$  en Broadcast à toutes les ancres, puis chaque ancre répond au noeud avec les deux Réponses ( $R1_{ij}$ ) et ( $R2_{ij}$ ) consécutivement. **Agrégé et en Broadcast (A&B)** toutes les Requêtes  $Q_i$  sont d'abord transmises en broadcast, puis chaque ancre transmet une réponse agrégée pour tous les noeuds. L'intérêt de cette étude est d'évaluer la pertinence d'un algorithme qui permet d'avoir une trame globalement plus courte, mais un retard moyen  $\Delta t_1$  plus grand.

### 3.1 Outils de simulation

Dans notre étude, nous utilisons le simulateur à événements discrets WSNET [10] qui permet de tester la performance de différents protocoles de communication dans des réseaux de capteurs. Il permet également d'exploiter les données du modèle de mobilité (Section 2.3) et ainsi d'étudier l'impact sur l'estimation de positionnement. Nous utilisons une couche PHY basée sur le standard IEEE802.15.6 UWB en mode par défaut (modulation OOK et un débit de 0,4875 Mbps) et une couche MAC de type TDMA (trame slotée et synchronisée) pour la transmission des différents paquets 3WR (Section 2.2). Nous supposons un canal à visibilité directe (LOS) sans pertes et un récepteur radio capable d'estimer parfaitement le premier chemin du pulse IR-ULB.

### 3.2 Performance

Nous quantifions l'impact de la mobilité des différentes allocations de slots en utilisant l'erreur quadratique moyenne (RMSE). Le RMSE compare les positions estimées  $\hat{P}_i(t)$  avec une position de référence réelle  $P_{ref_i}(t)$ , telle que :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{f=1}^{N_f} |P_{ref_i}(t) - \hat{P}_i(t)|^2}{N_f}}, \text{ où } N_f \text{ est le nombre de trames}$$

dans la simulation pour tous les noeuds.

Ainsi, nous définissons 3 positions de référence pour chaque noeud  $i$  :  $P_{ref1_i}$  est la position du noeud au début de la trame,  $P_{ref2_i}$  est la position instantanée lors de la réception du dernier paquet 3WR avec toutes les ancres et  $P_{final_i}$  est la position du noeud à la fin de la trame (Fig. 3). Dans nos résultats, nous utilisons également un facteur de vitesse (1-10) afin d'accélérer les traces de déplacement du modèle de mobilité.

**Impact de l'allocation de slots en P2P** La Figure 4 (a) montre que NS1 est la meilleure stratégie d'allocation de slots pour une bonne estimation de  $P_{ref1_i}$ . En effet, les noeuds les plus mobiles sont au début de la

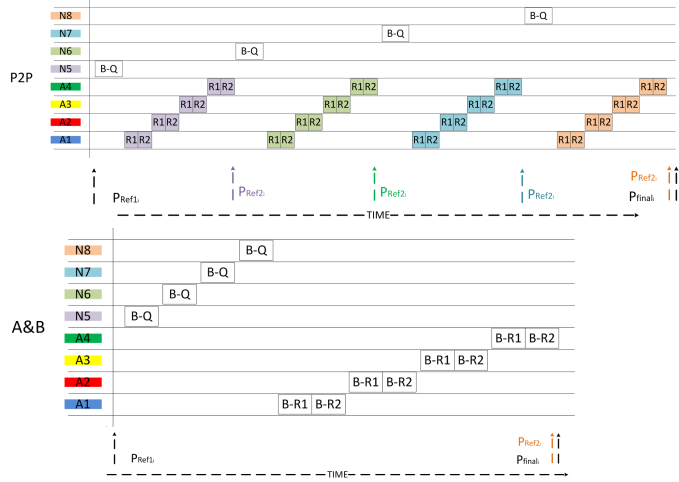


FIGURE 3: Stratégies d'ordonnancement P2P et A&B

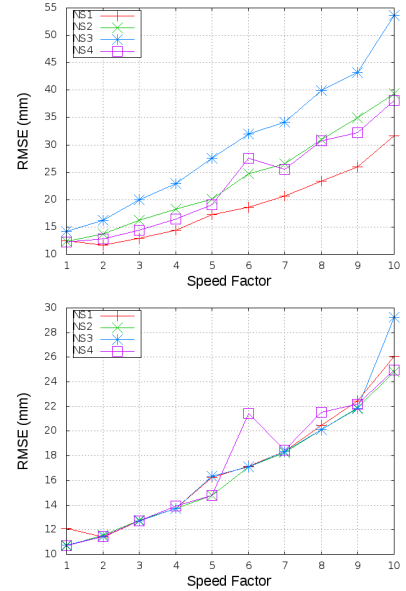


FIGURE 4: Stratégie P2P : (a) RMSE par rapport à la position  $P_{ref1_i}$  (b) RMSE par rapport à la position  $P_{ref2_i}$

trame. Donc lorsqu'ils sont évalués, ils ont subi le moins de mobilité par rapport à la position de référence d'origine. A l'inverse, NS3 serait la meilleure stratégie pour l'estimation de  $P_{final_i}$  (résultat vérifié par simulation mais non présenté dans ce papier). Enfin, (b) montre que l'estimation de  $P_{Ref2_i}$  présente moins d'écart entre les 4 stratégies d'allocation, car l'ordonnancement des paquets 3WR permet une localisation individuelle des noeuds. D'autre part, nous pouvons observer que, même si les ordres de grandeur sont comparables, la position  $P_{Ref2_i}$  est celle qui est la mieux évaluée.

### Comparaison de l'impact de l'allocation de slots entre P2P et A&B

Dans la Figure 5, nous représentons la distribution des RMSE des 4 stratégies d'allocation pour chaque position de référence avec P2P et A&B. (a) montre que pour estimer  $P_{Ref1_i}$  ou  $P_{final_i}$ , il existe un écart important entre les différentes stratégies d'allocation pour P2P, contrairement à  $P_{Ref2_i}$  qui est la position la mieux estimée. Si nous comparons les stratégies P2P avec A&B (b), on peut observer que l'impact de la mobilité est négligeable selon les différentes positions de référence. Enfin, pour A&B, c'est  $P_{Ref1_i}$  qui bénéficie d'une meilleure estimation, grâce à un  $\Delta t$  considérablement réduit.

## 4 Conclusions et perspectives

Dans ce travail nous avons abordé l'impact de la mobilité sur l'estimation du positionnement dans les réseaux corporels sans fil avec un modèle de mobilité réaliste. Nous avons proposé différentes stratégies d'allocation de slots et nous avons montré qu'il est plus efficace pour une stratégie P2P d'allouer les slots au milieu de la trame pour estimer sa position instantanée. Ainsi, la meilleure précision est obtenue pour  $P_{Ref1_i}$ , évaluée avec A&B. D'autre part, nous avons mis en évidence qu'une stratégie d'agrégation et diffusion (A&B) réduit l'impact de l'allocation de slots, ce qui permet une plus grande flexibilité dans le déploiement des capteurs sur le corps, et dans les mouvements potentiellement observables. Nous allons étendre cette étude à d'autres scénarios dynamiques (marche et course) avec un canal réaliste, puis élargir l'étude dans le contexte multi-BAN pour la navigation en groupe.

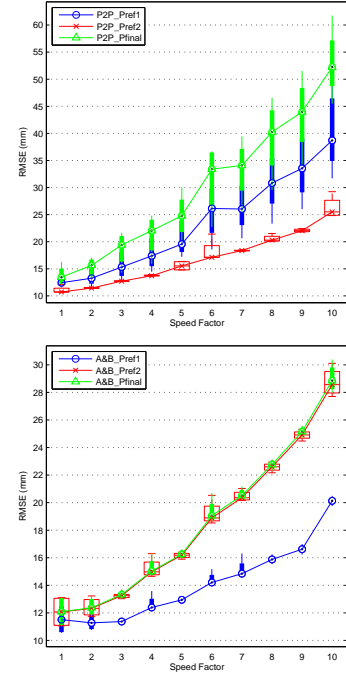


FIGURE 5: Comparaison des allocation de slots pour (a) P2P et (b) A&B selon les différents positions de référence à estimer

## Références

- [1] S. Ullah, M. Mohaisen, and M. A. Alnuem, "A review of IEEE 802.15.6 MAC, PHY, and security specifications," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, pp. 1–12, 2013.
- [2] Z. Xiao, Y. Hei, Q. Yu, and K. Yi, "A survey on impulse-radio UWB localization," *Sci. China Inf. Sci.*, vol. 53, pp. 1322–1335, Jul 2010.
- [3] H. Soganci, S. Gezici, and H. Poor, "Accurate positioning in ultra-wideband systems," *IEEE Wireless Communications*, vol. 18, no. 2, pp. 19–27, April 2011.
- [4] D. Macagnano, G. Destino, F. Esposito, and G. Abreu, "MAC performances for localization and tracking in wireless sensor networks," *2007 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication*.
- [5] J. Cholí, A. Hernandez, and A. Valdovinos, "A framework for UWB-based communication and location tracking systems for wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 11, pp. 9045–9068, Sep 2011.
- [6] G. E. Garcia, L. S. Muppisetty, and H. Wymeersch, "On the trade-off between accuracy and delay in UWB navigation," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 1, pp. 39–42.
- [7] A. Guizar, A. Ouni, C. Goursaud, N. Amiot, and J. Gorce, "Impact of MAC scheduling on positioning accuracy for motion capture with UWB body area networks," *Proceedings of the 9th International Conference on Body Area Networks*, 2014.
- [8] "Vicon." <http://www.vicon.com/>.
- [9] N. Amiot, M. Laaraiedh, and B. Uguen, "Pylayers : An open source dynamic simulator for indoor propagation and localization," in *Communications Workshops (ICC), 2013 IEEE International Conference on*, pp. 84–88, June 2013.
- [10] G. Chelius, A. Fraboulet, and E. Ben Hamida, "http://wsnet.gforge.inria.fr/."